Revisión sistemática de microplásticos: métodos analíticos en suelo y agua

Systematic review of microplastics: analytical methods in soil and water

Juan José Chaves Velasco1
Raquel Beatriz Romero Puentes2
Diana Milena Muñoz Solarte3
Arnol Arias Hoyos4

[1]Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1208-7887
E-mail: juan.chaves.v@uniautonoma.edu.co

[2]Universidad Manuela Beltrán
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2831-3602
E-mail: raquel.romero@docentes.umb.edu.co.

[3]Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8889-8905
E-mail: diana.munoz.s@uniautonoma.edu.co

[4]Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9863-1737
E-mail: arnol.arias.h@uniautonoma.edu.co.

Resumen

Con el paso del tiempo, la generación de nuevas tecnologías, entre ellas la producción de plásticos, ha provocado interés en la comunidad científica, debido a la fabricación o desprendimiento de micropartículas denominadas Microplásticos (MP), que tienen la capacidad de ocasionar un sin número de afectaciones a los ecosistemas y, en consecuencia, a la salud humana. Este artículo plantea unificar información relacionada con métodos analíticos de estos materiales en las matrices de suelo y agua, obteniendo resultados como el muestreo selectivo y volumen reducido, que son técnicas de recolección de muestras para el medio terrestre, de igual forma, los reactivos utilizados en los procesos de separación por densidad y de degradación de materia orgánica. Para el caso de la matriz acuática, su proceso de recolección se debe realizar teniendo en cuenta el medio en que se encuentra, asimismo, los procesos de microscopía y espectroscopía, que son de gran importancia para la cuantificación y clasificación de estos polímeros plásticos.

Historia del artículo

Fecha de recepción: 10-02-2024
Fecha de aceptación: 14-08-2024

DOI: 10.47374/novcol.2024.v19.2406

Abstract

With the passage of time, the generation of new technologies, including the production of plastics, has caused interest in the scientific community, due to the manufacture or release of microparticles called Microplastics (MP), which have the ability to cause a number of affectations to ecosystems and, consequently, to human health. This article proposes to unify information related to analytical methods of these materials in soil and water matrices, obtaining results such as selective sampling and reduced volume, which are sample collection techniques for the terrestrial environment, as well as the reagents used in the processes of separation by density and degradation of organic matter. In the case of the aquatic matrix, the collection process must be carried out taking into account the environment in which it is found, as well as the microscopy and spectroscopy processes, which are of great importance for the quantification and classification of these plastic polymers.

Keywords: Microplastics, Plastic polymers, environmental matrixes, Fenton reaction, FTIR, filtration.

Introducción

En las últimas décadas, la humanidad ha desarrollado un sin número de tecnologías, permitiendo construir la sociedad que se conoce actualmente (Adomat y Grischek, 2021), sin embargo, muchas de estas han ocasionado efectos negativos sobre la salud humana y los ecosistemas. Dentro de estas innovaciones se encuentran los materiales desarrollados a base de polímeros, denominados plásticos, los cuales poseen múltiples usos y aplicaciones debido a su resistencia a la corrosión, ligereza, durabilidad, maleabilidad, entre otras características (Yang *et al*., 2021). Estas características generaron la ultra producción de dichos compuestos, dando paso a la llamada "Edad Plástica", ante la cual nos enfrentamos en el presente (Cózar *et al*., 2014).

Muchos plásticos se clasifican como elementos de un solo uso, indicando que, al momento de finalizar su utilización, se produce su eliminación o desecho (Alimba y Faggio, 2019). Lo anterior genera gran preocupación, pues la inadecuada disposición final de estos materiales, ocasiona que lleguen hasta los entornos naturales acuáticos y terrestres, causando afectaciones drásticas a las distintas formas de vida y a las poblaciones locales que dependen de estos ecosistemas (Peng *et al*., 2018).

Palabras Clave: Microplásticos, polímeros plásticos, matrices ambientales, reacción de Fenton, FTIR, filtración.

Debido a su gran resistencia, los plásticos poseen un periodo de degradación que oscila entre los 100 y los 1000 años (Andrady, 2011); adicionalmente, la dinámica propia de las matrices naturales hasta donde llegan, genera su múltiple fragmentación y desprendimientos de este material en diversos tamaños, perdiendo así su forma original. (Alomar *et al*., 2016). En el momento en que estas partículas logran un diámetro igual o inferior a los 5mm, obtienen el nombre de microplásticos (MP) (Jian *et al*., 2020).

Los MP se encuentran dentro del grupo de los llamados contaminantes emergentes (CE), los cuales se definen como el grupo de compuestos que, aunque puedan tener poca persistencia en el ambiente, generan afectaciones negativas, tanto en la salud humana como en los ecosistemas, debido, entre otros factores, a su interacción de co-transporte con los disruptores endocrinos, capaces de afectar los sistemas hormonales por su semejanza con segregacione s de las células naturales (Cortés-Arriagada *et al*., 2023). Los CE por otra parte, tienen la particularidad de no estar incluidos en los actuales sistemas de monitoreo y protección ambiental (Delgado, 2019).

Los MP se clasifican de manera general en dos categorías: primarios y secundarios (Cózar *et al*., 2014). Los primarios son el resultado de su liberación directa en los ecosistemas, en las dimensiones micro (menor o igual a 5mm); mientras que los secundarios hacen referencia a aquellos originados por la degradación o desprendimiento de productos plásticos de mayor tamaño, acumulándose en la columna de agua por suspensión o en los sedimentos de las riberas de las fuentes de agua (Onoja *et al*., 2022).

Los MP representan un evidente peligro en los ecosistemas acuáticos debido a su capacidad de adsorber aditivos o productos químicos presentes en el agua (Mason *et al*., 2016), aumentando su peligrosidad debido a la bioacumulación en las cadenas tróficas. Se ha detectado la presencia de estos componentes en especies marinas pequeñas y peces de diferentes tipos (Hartmann *et al*., 2019); por consiguiente, teniendo en cuenta la cadena alimenticia, los consumidores de estos alimentos incrementan la probabilidad de sufrir afectaciones en su salud, que van desde problemas intestinales menores hasta daños respiratorios (Nel *et al*., 2021).

Los MP también han generado alteraciones en los ecosistemas terrestres, no solo a nivel biológico debido a su ingesta, sino también en los procesos naturales del suelo, tales como la actividad microbiana, el crecimiento y rendimiento de plantas, entre otros (Chang *et al*., 2022). Lo anterior evidencia los peligros que pueden generar estas partículas para salud humana y para los ecosistemas, indicando así la importancia de esta temática en pro del desarrollo científico.

A nivel mundial, los estudios hallados se relacionan con la presencia de MP en aguas marinas (Barboza *et al*., 2018), sin embargo, las afectaciones generadas por estas partículas también se presentan en ríos y humedales, que son fuentes de vital importancia para el mantenimiento de la diversidad biológica, para el ciclado de nutrientes y para múltiples funciones ecológicas que benefician a poblaciones locales, preservando su salud y la integridad de los ecosistemas.

Estos sistemas acuáticos tienen una alta concentración de residuos sólidos debido a la inadecuada disposición final de los mismos en su recorrido por los centros poblados (Ballent *et al*., 2013). Esta situación motiva el estudio de la presencia de micro plásticos en estas fuentes de agua dulce en beneficio de la gestión integral de cuencas hídricas aportando a la ciencia, la tecnología y la innovación, en beneficio de las poblaciones humanas (Bellasi *et al*., 2021).

La mayoría de investigaciones sobre MP en medios terrestres, se ha realizado en países como Alemania, China y Estados Unidos (Chang *et al*., 2022). Estudios realizados en 2022 arrojaron resultados de presencia de MP en lombrices de tierra, los cual indica la presencia de sustancias tóxicas por procesos de bioacumulación. Dado que estos organismos son posteriormente ingeridos por aves y mamíferos, los MP y las sustancias tóxicas adheridas a ellos, pueden seguir en la cadena alimenticia, hasta llegar a los seres humanos (Huerta Lwanga *et al*., 2017).

En Colombia se han realizado estudios en el río Magdalena (Calderón *et al*., 2020), en las aguas saladas de las costas Caribe y Pacífica (Acosta, 2014; Vidal *et al*., 2021) y en lagos como el Luruaco al norte del país (Rojas-Luna *et al*., 2023). Estas experiencias se realizaron implementando metodologías y equipamientos de bajo costo y fácil acceso como lo son recipientes de aluminio, cloruro de sodio como reactivo, microscopía, entre otros.

El objetivo de la presente revisión es describir los procedimientos más utilizados en la obtención y análisis de microplásticos en matrices ambientales, siendo estas suelo y agua.

Este artículo se planteó en aras de generar mayor interés en esta temática realizando una revisión sistemática (RS) que analiza aspectos cualitativos y cuantitativos de la literatura científica afín a los MP en un periodo temporal de 10 años, entre 2014 y 2023, con la finalidad de exponer y unificar información existente relacionada con este tema. Esta metodología, muy utilizada en estudios del área de las ciencias de la salud, es de gran utilidad para otras ciencias aplicadas, como la ingeniería, debido a que identifica investigaciones viables y actualizadas por los criterios de selección y exclusión aplicados en las bases de datos correspondientes (Blanco Gómez *et al*., 2021).

Materiales y métodos

Inicialmente, se identificaron los criterios de selección y palabras clave relacionadas a la temática estudiada, teniendo en cuenta la evolución y avance que han tenido las investigaciones relacionadas a los MP. Los criterios definidos fueron los siguientes:

Periodo de publicación: 10 años (2014-2023).
Tipología: Artículos de revistas científicas, tesis de grado de maestría y doctorado y protocolos reportados internacionalmente.

Tipo de ingreso: Open Access.
Estado: Publicado.
Idioma: inglés y español.
Fuentes de información: Science Direct, Google Scholar, Scopus, repositorios universitarios, bases de datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Administración Oceánica de Estados Unidos y las asociaciones españolas Hombre y Territorio, SEO/BirdLife y Ecoembes.

Posteriormente, se realizó la búsqueda bibliográfica utilizando las palabras clave identificadas, formulando frases y ecuaciones booleanas. De esta manera, se obtuvieron artículos y documentos pertinentes a los métodos analíticos empleados para la detección de microplásticos en matrices de suelo y agua, tal como se ilustra en las siguientes imágenes.

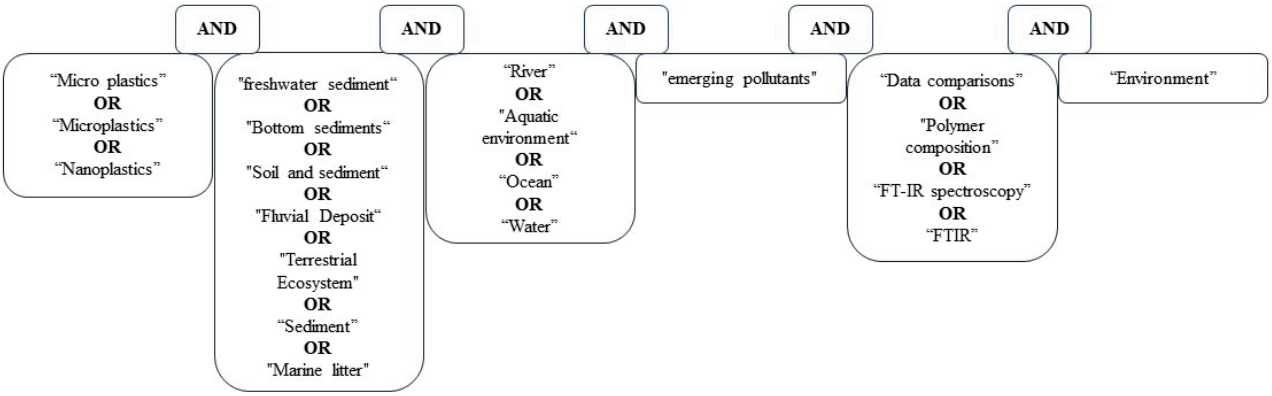


Figura 1. *Ecuaciones de búsqueda, métodos analíticos.*

La búsqueda realizada en las bases de datos mencionadas y con los parámetros establecidos, dio como resultado un total de 1828 referencias. Estos resultados se perfeccionaron excluyendo variables no afines al tema central, seleccionando los artículos de revisión que se refieren exclusivamente a la ocurrencia, descripción, muestreo y clasificación de MP en las matrices agua y suelo.
Las palabras clave que no se tuvieron en cuenta fueron apartadas utilizando el término de búsqueda mencionado. NOT Air or Airflow, Aerosol or sprays, "Air route", "Water treatment" or "Wasted treatment" or "Water purification" or "Removal methods", "Pollution" or "Environmental pollution" or "Plastics pollution", "Health" or "Health risk", "Human", "toxicology". Resultado de este proceso, se obtuvo total de 440 documentos afines.

Con el resultado anterior, se procedió a la lectura de los referentes encontrados, verificando que cumplieran con los criterios establecidos. Adicionalmente, se realizó un último filtro de información a aquellos escritos que no trataran directamente la temática implicada por no ser significativos para el presente estudio.

Teniendo en cuenta que este artículo plantea exponer los métodos analíticos de MP más convencionales y de fácil acceso a ejecutarse, en la lectura mencionada se excluyeron referentes que utilizaran elementos o compuestos de elevado valor monetario o usos industriales como lo son el Yoduro de Sodio (NAI), el Formiato de Potasio (CHKO2), el Cloruro de Calcio (CaCl2), entre otros, obteniendo un total de 41 documentos entre los cuales se encuentran investigaciones científicas, tesis de grado, protocolos y metodologías internacionales. En la Figura 2 se muestra el proceso completo de selección bibliográfica.

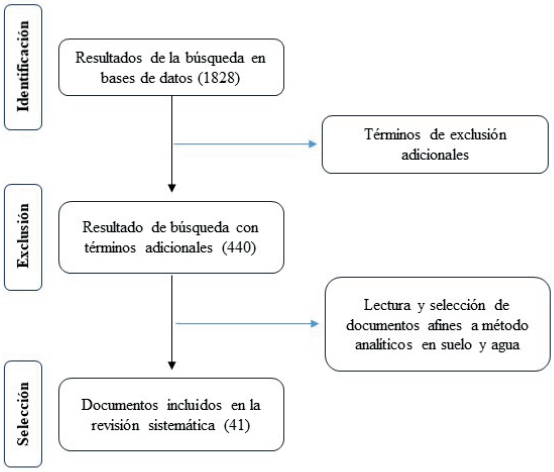


Figura 2. *Resumen búsqueda bibliográfica.*

Finalmente, los documentos seleccionados fueron sistematizados en una matriz de referencias, que permitió ilustrar los aspectos más representativos de cada publicación, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. *Información de documentos afines.*

Tipo de información	Información extraída
Información general	Título, autores y año de publicación.
	Metodología y resultados.
Temática general	Microplásticos.
Ámbito	Mundial.
Temática abordada	Métodos analíticos y afectaciones en la salud humana y ecológica.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos al momento de la lectura de los documentos arrojaron inicialmente un aumento de publicaciones en los últimos diez años, mostrando una tendencia similar en la primera mitad de la década. Entre 2019 y 2021 se presentó un crecimiento constante en la publicación de documentos en torno a este tema.

En la Figura 4 se evidencia el número de publicaciones en relación con el país de procedencia de los documentos recolectados, siendo España el país con mayor número de publicaciones a nivel mundial y en Europa, con siete publicaciones. En Latinoamérica, resalta la producción procedente de Perú con seis producciones y Colombia con cuatro documentos, seguidos por Argentina, Brasil y México.

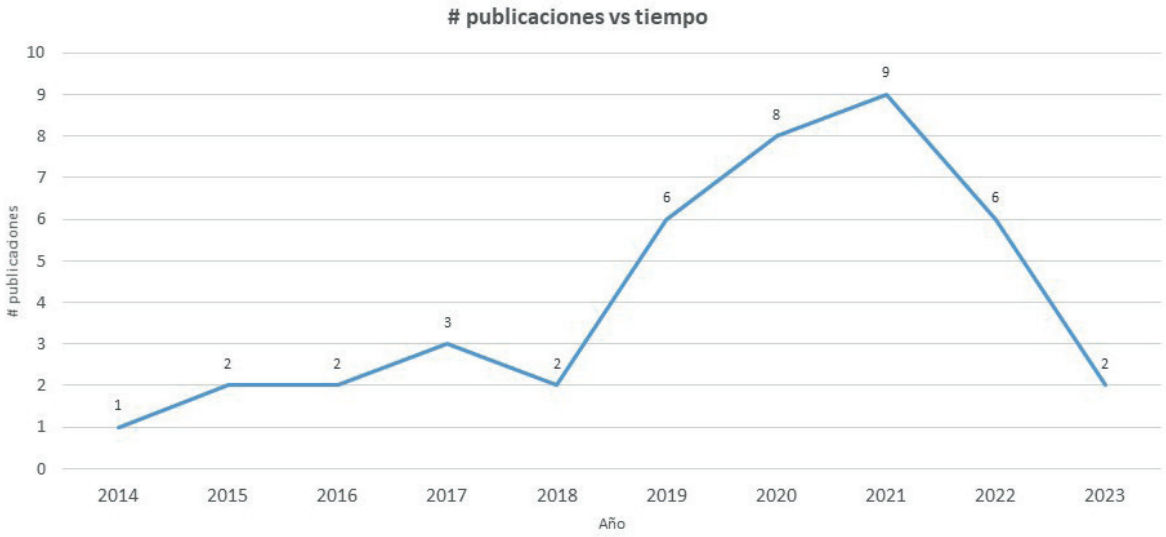


Figura 3. *Número de publicaciones halladas.*

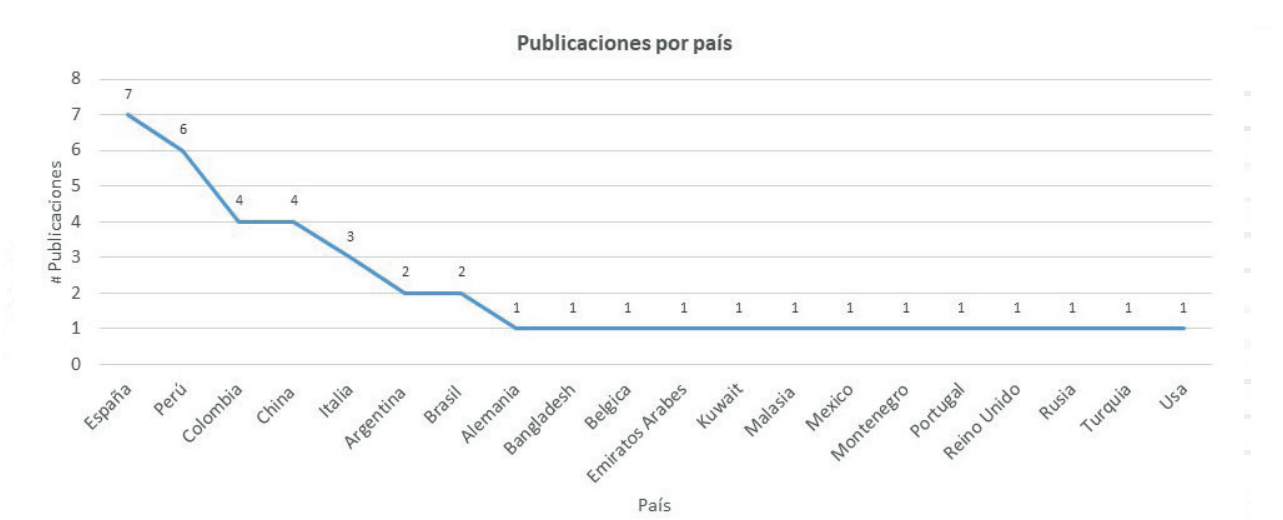


Figura 4. *País de procedencia*

A continuación, se exponen los diferentes procedimientos mencionados en los documentos seleccionados, comparándolos en las matrices analizadas (suelo y agua) respectivamente.

En temática de prevención contra la contaminación de las muestras en las dos matrices, es fundamental mencionar que, en lo posible se debe evitar el uso de materiales y recipientes plásticos reduciendo contaminación y sobre el conteo de las diferentes muestras (Onoja *et al*., 2022).

Métodos analíticos en la matriz suelo

De acuerdo a los métodos de recopilación en la matriz suelo identificados por Yang et al. (2021), las metodologías implementadas fueron: muestreo selectivo, que consiste en la utilización de pinzas metálicas para seleccionar y separar microplásticos de gran tamaño (1 – 5 mm) en el área de estudio; y muestreo de volumen reducido, que se diferencia del anterior por el procesamiento de muestras en laboratorio donde se eliminan partículas o compuestos que puedan interferir en el análisis posterior. Estos procedimientos requieren determinar un área y extensión de muestreo para su realización.

Por su parte, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" (INVEMAR, 2017), plantea estaciones de recolección separadas cada 5m hasta un total de 30m con áreas de extracción de 50 * 50 cm a una profundidad de 5 cm, encontrándose dentro de lo mencionado por Yang *et al*., 2021, que plantea zonas de muestreo entre los 250 cm^2 y los 900 cm^2. Para realizar el procesamiento en el laboratorio, la muestra seca se debe tamizar, logrando la separación de partículas grandes que podrían interferir con el conteo (Van Cauwenberghe *et al*., 2015). Si la muestra está húmeda, se debe someter a secado que no supere una temperatura de 60°C (Zobkov & Esiukova, 2017), y así realizar su procesamiento.

Teniendo ya la muestra seca y tamizada, el proceso más utilizado a nivel mundial es el de separación por densidad. Adomat y Grischek (2021) indican en su estudio que la finalidad de estos métodos es lograr que los MP se encuentren en el sobrenadante de una solución hipersalina y que el mayor porcentaje posible de partículas no plásticas se sedimente, facilitando así su posterior filtración. Hay una gran diversidad de reactivos que permiten este proceso.

En su estudio, Cutroneo *et al*. (2021) identifican las sales de mayor uso en el estudio de microplásticos en sedimentos. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. *Sales utilizadas según Cutroneo et al. (2021).*

Sal	Densidad obtenida g*cm−3	Porcentaje de utilización (%)
Cloruro de sodio (NaCl)	1.15–1.3	46.6
Cloruro de calcio (CaCl2)	1.3–1.35	1.7
Cloruro de zinc (ZnCl2)	1.5–1.8	19
Bromuro de zinc (ZnBr2)	1.7	1.7
Yoduro de sodio (NaI)	1.55–1.8	17.2
Bromuro de sodio (NaBr)	1.37	1.7

Con 47%, el NaCl es el compuesto con mayor porcentaje de utilización. Según Calderón et al. (2020) esto se debe a su bajo costo, además de ser accesible no solo a la comunidad científica, si no, a la ciudadanía en general.

Logrando la sedimentación de la muestra física en la solución hipersalina, varios autores recomiendan que se realice una digestión de materia orgánica (MO), facilitando así el conteo posterior de MP (HUANACO, 2019; Pazos, 2021; Yusuf et *al*., 2022), el cual, según lo estipulado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA, 2015), se realiza efectuando la denominada reacción de Fenton.

El paso a seguir es la filtración del sobrenadante resultante, para ello, el proceso más utilizado es la filtración al vacío (Praveena et *al*., 2022; Alvarez, 2020), permitiendo el almacenamiento de MP en un filtro para su posterior conteo.

Al momento del conteo, la utilización de microscopía en aumentos de entre 10x y 40x permiten la observación de los MP diferenciados según su forma, sea fibra, film, fragmento u otro (Gago et al., 2018; Alomar et al., 2016; Sun *et al*., 2019). La forma de barrido mencionada por León Muez et al. (2020) permite la visualización completa de los filtros de análisis obtenidos.

El proceso final opcional es la utilización de espectroscopía FTIR, la cual permite conocer la composición química y el tipo de material de las partículas obtenidas en las muestras mediante longitudes de onda (Gago *et al*., 2018). Acosta (2014) utilizó FTIR en su estudio, logrando la caracterización de MP muestreados en playas de la ciudad de Cartagena (Colombia), con resultados de presencia de polietileno (PE) y polipropileno (PP). Por su parte, Mistri et al. (2017) identificaron mediante el uso de esta técnica, seis tipos de polímero en sedimentos cerca al mar Adriático, resaltando, además de los dos materiales mencionados, el nylon y el poliuretano termoplástico (TPU). Para el caso del estudio de MP en sedimentos de Frias *et al*., 2016, fueron detectadas partículas de PP nuevamente, haciendo de este, uno de los tipos más comunes dentro del estudio de microplásticos en suelo.

Métodos analíticos en la matriz suelo

El método analítico de MP para el medio acuático es similar al proceso en laboratorio realizado para el medio terrestre. Sin embargo, se debe diferenciar la metodología de extracción, debido a los diferentes estados en que se encuentra el agua se encuentra y las diferentes formas como transcurre en distintos espacios. En la presente recopilación se expondrán los métodos en aguas superficiales oceánicas y en ríos.

Para el primer caso, INVEMAR (2017) plantea que el muestreo se debe realizar mediante el uso de vehículo acuático, haciendo tres recorridos paralelos a la orilla con una separación de 20m, sin sobrepasar una duración de 15 minutos a una velocidad aproximada de 5,6 Km/h. Uddin et al. (2020) mencionan que esta es la velocidad indicada para la utilización del instrumento de muestreo, el cual consta de una malla con porosidad de 45 µm y un radio de 30cm, desplegada desde la embarcación. Ejemplo de ello fue la experiencia de Marinho (2021), quienes realizaron un muestreo en Brasil, en islas cercanas a Río de Janeiro, utilizando una velocidad máxima de 3,7 Km/h con 10 minutos de duración por recorrido utilizando una red de plancton lanzada desde un costado del medio de transporte marino utilizado.

Las muestras resultantes se deben lavar con agua destilada y, posteriormente, almacenar en materiales no plásticos, evitando la contaminación para su transporte al laboratorio (Lai et al., 2021; Uddin *et al*., 2020).

Debido a que los muestreos se realizan utilizando una malla de determinada porosidad, es frecuente el ingreso de partículas no deseadas en su recolección y limpieza, razón por la cual, es necesario realizar un proceso de tamizaje posteriores a la recolección. En el ejemplo citado, Pereira (2021) utilizó tamices metálicos con porosidades entre 4,75 mm y 355 µm para dicho tamizaje.

Para completar el proceso en laboratorio, se recomienda seguir la guía para la detección de MP en el medio marino generada por la NOAA, donde se describe el paso a paso las diferentes fases del proceso (NOAA, 2015),
las cuales son:

- Separación de partículas no deseadas.
- Caracterización según su forma.
- Procesamiento por espectroscopía infrarroja.

En el caso de los ríos, inicialmente se deben determinar las condiciones diferenciadoras de estas fuentes de agua, y tener en cuenta sus condiciones hidrológicas, su posibilidad de acceso y estructuras existentes sobre ellas según el caso (puentes, túneles, etc.), para determinar la forma de extracción de la muestra.

Cuando el único medio de acceso al río es mediante botes y no se cuenta con estructuras sobre este, se recomienda realizar el mismo procedimiento descrito anteriormente para aguas oceánicas. Calderón et al. (2020) realizaron este ejercicio caracterizando MP en el río Magdalena en su paso por el área urbana de la ciudad de Neiva (Colombia), almacenando en frascos de 600 ml el resultante del recorrido realizado durante 30 minutos a una velocidad de 2 nudos, utilizando una red de fitoplancton de 20µm, sumergida a 20 cm de la superficie del agua.

Por su parte, Di y Wang (2018) evaluaron la concentración en aguas superficiales en la Presa de las Tres Gargantas en el curso del río Yangtsé, China), el embalse más grande del país. La forma de recolección utilizada fue una bomba teflón, en lugar de una red, que permitió realizar la extracción de 25L por cada estación de muestreo a una profundidad de 1m para, posteriormente, realizar el tamizado de 48 µm llevándolo a su posterior análisis de laboratorio. Si las condiciones del río permiten acceso o hay presencia de construcciones, la presente revisión recomienda seguir los pasos descritos por León Muez *et al.* (2020), que explican detalladamente las consideraciones y materiales requeridos para ejecutar los estudios, teniendo en cuenta la seguridad del equipo investigativo y los materiales permitidos, algunos de uso cotidiano, tanto en campo como en laboratorio.

Dicha guía fue tenida en cuenta en el estudio de León-Muez *et al*., (2020), agregando que existen dos opciones para la toma de muestra de MP en ríos en campo, las cuales son, filtración de 50L o el conteo de 10 min, realizando filtración continua in situ.

Conclusiones

Los métodos analíticos de los MP se clasifican según las matrices a analizar, asimismo, poseen procesos y reactivos similares que permitiría la estandarización de estas metodologías o secuencias, como lo son: los esquemas de filtración, separación por densidad utilizando soluciones hipersalinas, la observación morfológica por microscopía y de componentes por espectros infrarrojos. Dicha estandarización no solo mejoraría la comparación de resultados entre diferentes estudios, sino que optimizaría la repetición y eficiencia de futuros análisis en contextos ambientales diferentes a los tratados en el presente artículo.

Para el caso de la matriz acuática, es importante tener en cuenta el tipo de medio que se analizará, como ríos, mares, lagos, entre otros. Esto determinará la forma de extracción del líquido mediante ingreso directo de los investigadores, transporte acuático (botes) o utilización de infraestructura existente. Del mismo modo, se debe tener en cuenta que la selección del método debe garantizar la integridad de las muestras realizadas, asegurando la calidad de los resultados obtenidos.

La sal con mayor porcentaje de utilización en el estudio de microplasticos, tanto en agua como en suelo, es el cloruro de sodio o sal común, debido a su facilidad de adquisición, tanto científico como cotidiano, lo que facilita la realización de estudios relacionados con el análisis e identificación de microplásticos, ya que simplifica la logística requerida para su realización, reduciendo costos y fomentando el inicio, la continuidad y expansión de investigaciones similares.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Manuela Beltrán y a la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por las herramientas y recursos digitales de apoyo (bases de datos y licencias) brindados para la realización de este proyecto. De igual forma, a la Universidad del Cauca y a la revista Novedades Colombianas por las enseñanzas y espacios brindados.

Referencias

Acosta, I. 2014. Caracterización de microplásticos primarios en el ambiente marino de una playa urbana en Cartagena de Indias. 12(2007), 703–712. https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/diger-kitaplar/TBSA-Beslenme-Yayini.pdf

Adomat, Y., y Grischek, T. 2021. Sampling and processing methods of microplastics in river sediments - A review. *Science of the Total Environment*, 758, 143691. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143691

Alimba, C. G. y Faggio, C. 2019. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *68*(February), 61–74. https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001

Alomar, C., Estarellas, F., y Deudero, S. 2016. Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005

Alvarez, G. M. 2020. *Detección y monitoreo de microplásticos en sedimentos costeros de marismas de la costa norte del estuario de Bahía Blanca*. 1–236. http://hdl.handle.net/20.500.12272/4633

Andrady, A. L. 2011. *Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

Ballent, A., Pando, S., Purser, A., Juliano, M. F. y Thomsen, L. 2013. Modelled transport of benthic marine microplastic pollution in the Nazaré Canyon. *Biogeosciences*, 10(12), 7957–7970. https://doi.org/10.5194/bg-10-7957-2013

Barboza, L. G. A., Dick Vethaak, A., Lavorante, B. R. B. O., Lundebye, A. K. y Guilhermino, L. 2018. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 336–348. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047

Bellasi, A., Binda, G., Pozzi, A., Boldrocchi, G. y Bettinetti, R. 2021. The extraction of microplastics from sediments: An overview of existing methods and the proposal of a new and green alternative. *Chemosphere*, 278, 130357. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130357

Blanco Gómez, D., Rubio, E. M., Marin, M. M. y De Agustina, B. 2020. *Propuesta metodológica para revisión sistemática en el ámbito de la ingeniería basada en PRISMA*. https://www.researchgate.net/publication/348705198 XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica.

Calderón, H., Martinez, P. y Muñoz, J. 2020. Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del río Magdalena en la ciudad de Neiva, Colombia. *En Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (pp. 533–541). http://doi.org/10.5281/zenodo.4031208

Chang, X., Fang, Y., Wang, Y., Wang, F., Shang, L. y Zhong, R. 2022. Microplastic pollution in soils, plants, and animals: A review of distributions, effects and potential mechanisms. *Science of the Total Environment*, 850, 157857. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157857

Cortés-Arriagada, D., Ortega, D. E. y Miranda-Rojas, S. 2023. Mechanistic insights into the adsorption of endocrine disruptors onto polystyrene microplastics in water. *Environmental Pollution*, 319, 121017. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121017

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, Á. T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M. L., & Duarte, C. M. 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(28), 10239–10244. https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111

Cutroneo, L., Reboa, A., Geneselli, I. y Capello, M. 2021. Considerations on salts used for density separation in the extraction of microplastics from sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112216. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112216

Delgado, N. 2019. Diagnóstico y remoción de contaminantes emergentes en aguas superficiales y cloacales. *La Plata*, *Argentina*, 1–127. https://doi.org/10.35537/10915/73272

Di, M. y Wang, J. 2018. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment*, 616–617, 1620–1627. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.150

Frias, J. P. G. L., Gago, J., Otero, V. y Sobral, P. 2016. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research*, 114 2016, 24–30. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.006

Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V. y Viñas, L. 2018. Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 365–376. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.070

Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L. y Wagner, M. 2019. Are We Speaking

the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, 53(3), 1039–1047. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297

Huanaco Huamán, R. 2021. *Diagnóstico de la presencia de microplásticos en sedimentos laterales en la cuenca baja del Río Rímac* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. http://hdl.handle.net/20.500.12404/19416

Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., van der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A. A. y Geissen, V. 2017. Incorporation of microplastics from litter into burrows of Lumbricus terrestris. *Environmental Pollution*, 220, 523–531. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.096

INVEMAR. 2017. *Protocolo Muestreo microplásticos INVEMAR.* 1–21.

Jian, M., Zhang, Y., Yang, W., Zhou, L., Liu, S. y Xu, E. G. 2020. Occurrence and distribution of microplastics in China's largest freshwater lake system. *Chemosphere*, 261, 128186. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128186

Lai, Y., Dong, L., Li, Q., Li, P. y Liu, J. 2021. Sampling of micro- and nano-plastics in environmental matrixes. TrAC - *Trends in Analytical Chemistry*, 145, 116461. https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116461

León-Muez, D., Peñalver-Duque, P., Ciudad Trilla, C., Muñoz, M., Infante, O., Güemes Santos, S., Parrilla Giráldez, R. y Serrano-Martín, L. 2020. Primer muestreo de microplásticos en arroyos y ríos de la España peninsular. *Ecosistemas*, 29(3), 2087. https://doi.org/10.7818/ECOS.2087

León Muez, D., Peñalver Duque, P., Franco Fuentes, E., Benfatti, E., Comes Aguilar, L., Ciudad Trilla, C., Muñoz, M., Güemes, S., Fernando de Fuentes, A., Serrano Martín, L. y Parrilla Giraldez, R. 2020. Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos. https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2020/06/Protocolo_muestreo_análisis_microplásticos_ríos_Proyecto_Libera_HyT-web.pdf

Marinho, P. P. 2021. *Avaliação e caracterização de microplástico em águas superficiais costeiras entre a Baía de Guanabara e Ilhas Cagarras, Rio de Janeiro* [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Católica do Río de Janeiro.

Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., y Rogers, D. L. 2016. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045–1054. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056

Mistri, M., Infantini, V., Scoponi, M., Granata, T., Moruzzi, L., Massara, F., De Donati, M. y Munari, C. 2017. Small plastic debris in sediments from the Central Adriatic Sea: Types, occurrence and distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 435–440. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.063

Microplastics in Malaysian bottled water brands: Occurrence and potential human exposure. Environmental Pollution, 315, 120494. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120494

Rojas-Luna, R. A., OquNel, H. A., Chetwynd, A. J., Kelly, C. A., Stark, C., Valsami-Jones, E., Krause, S. y Lynch, I. 2021. An Untargeted Thermogravimetric Analysis-Fourier Transform Infrared-Gas Chromatography-Mass Spectrometry Approach for Plastic Polymer Identification. *Environmental Science and Technology*, 55(13), 8721–8729. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01085

NOAA. 2015. *Métodos de Laboratorio para el Análisis de Microplásticos en el Medio Marino : Recomendaciones para la cuantificación de partículas sintéticas en aguas y sedimentos.*

Onoja, S., Nel, H. A., Abdallah, M. A. E. y Harrad, S. 2022. Microplastics in freshwater sediments: Analytical methods, temporal trends, and risk of associated organophosphate esters as exemplar plastics additives. *Environmental Research*, 203, 111830. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111830

Pazos, R. S. 2021. Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur). *Facultad de Ciencias Naturales y Museo*, 1–225.

Peng, G., Xu, P., Zhu, B., Bai, M. y Li, D. 2018. Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: A case study of risk assessment in mega-cities. *Environmental Pollution*, 234, 448–456. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.034

Praveena, S. M., Shamsul Ariffin, N. I. y Nafisyah, A. L. 2022. Microplastics in Malaysian bottled water brands: Occurrence and potential human exposure. *Environmental Pollution*, 315, 120494. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120494

Rojas-Luna, R. A., Oquendo-Ruiz, L., García-Alzate, C. A., Arana, V. A., García-Alzate, R., y Trilleras, J. 2023. Identification, Abundance, and Distribution of Microplastics in Surface Water Collected from Luruaco Lake, Low Basin Magdalena River, Colombia. *Water*, 15(2), 344. https://doi.org/10.3390/w15020344

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M. y Ni, B. J. 2019. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21–37. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050

Uddin, S., Fowler, S. W., Saeed, T., Naji, A. y Al-Jandal, N. 2020. Standardized protocols for microplastics determinations in environmental samples from the Gulf and marginal seas. *Marine Pollution Bulletin*, 158(June), 111374. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111374

Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J. y Janssen, C. R. 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurren-

ce and effects. *Marine Environmental Research*, 111, 5–17. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007

Vidal, L., Molina, A. y Duque, G. 2021. Incremento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletin de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(2), 113–132. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032

Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z. y Wu, C. 2021. Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources. *Science of the Total Environment*, 754, 141948. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141948

Yusuf, A., Sodiq, A., Giwa, A., Eke, J., Pikuda, O., Eniola, J. O., Ajiwokewu, B., Sambudi, N. S., y Bilad, M. R. 2022. Updated review on microplastics in water, their occurrence, detection, measurement, environmental pollution, and the need for regulatory standards. *Environmental Pollution*, 292(PB), 118421. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118421

Zobkov, M., & Esiukova, E. 2017. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 724–732. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.060